

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-188115

(P2003-188115A)

(43)公開日 平成15年7月4日(2003.7.4)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード(参考)

H 01 L 21/285

H 01 L 21/285

P 4 K 0 2 9

C 23 C 14/24

C 23 C 14/24

M 4 M 1 0 4

H 01 L 21/02

H 01 L 21/02

Z

21/3205

21/88

B

審査請求 未請求 請求項の数36 OL (全 18 頁)

(21)出願番号

特願2001-383534(P2001-383534)

(71)出願人 000002358

新明和工業株式会社

兵庫県宝塚市新明和町1番1号

(22)出願日

平成13年12月17日(2001.12.17)

(71)出願人 301028325

株式会社つくばセミテクノロジー

茨城県つくば市吾妻1-15-1 大成ビル
106

(71)出願人 301078191

株式会社日製エレクトロニクス

東京都港区西新橋一丁目24番14号

(74)代理人 100065868

弁理士 角田 嘉宏 (外2名)

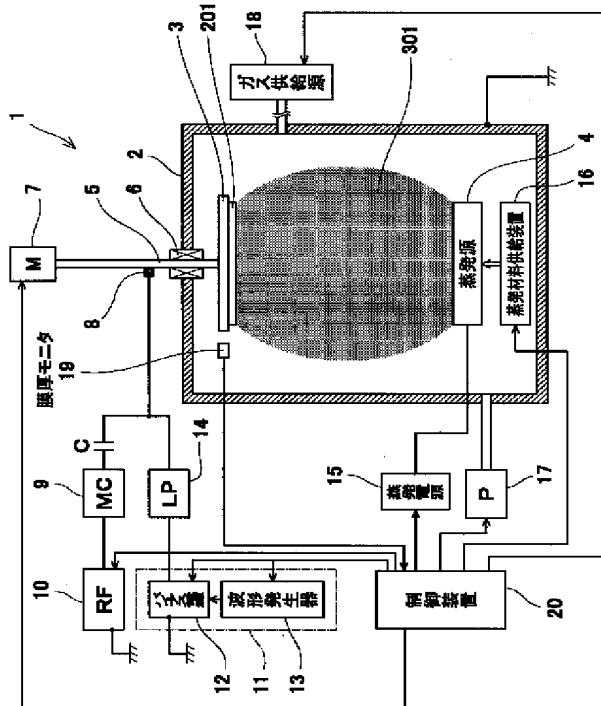
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体配線形成方法及び装置、半導体デバイス製造方法及び装置、並びにウエハ

(57)【要約】

【課題】 熱硬化処理及び表面平滑化処理の省略、バリア層の厚みの低減、並びに最適な条件で高アスペクト比の溝に配線を形成することが可能な半導体配線形成方法及び装置、半導体デバイス製造方法及び装置、並びにウエハを提供する。

【解決手段】 内部を実質的に真空状態に保持することが可能な真空チャンバ2を用い、真空チャンバ2内に配設された基材ホルダ3によって半導体配線膜が形成されるウエハ201を保持し、真空チャンバ2内に配置された蒸発源4によって半導体配線膜の材料を蒸発させ、高周波電源10によって基材ホルダ3を一方の電極として真空チャンバ2内にプラズマ301を発生させるための高周波電力を供給するものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 内部を実質的に真空状態に保持することができる真空チャンバと、該真空チャンバ内に配設され半導体配線膜が形成されるウエハを保持する基材ホルダと、上記真空チャンバ内に配置され上記半導体配線膜の材料を蒸発させる蒸発源と、上記基材ホルダを一方の電極として上記真空チャンバ内にプラズマを発生させるための高周波電力を供給する高周波電源とを備えた半導体配線形成装置。

【請求項2】 上記真空チャンバ内に水素又はOH基を含むガスを供給する手段を備えた請求項1記載の半導体配線形成装置。

【請求項3】 上記基材ホルダを負の電極として上記真空チャンバ内に直流電界を形成するための直流電源を備えた請求項1又は2記載の半導体配線形成装置。

【請求項4】 上記ウエハに形成される半導体配線膜の堆積状況のモニタ結果に基づいて、上記半導体配線膜の形成条件を制御する制御手段をさらに備えた請求項3記載の半導体配線形成装置。

【請求項5】 上記半導体配線膜の形成条件が、上記半導体配線膜の堆積速度、上記高周波電力の大きさ、及び上記直流電界の強度の少なくともいずれかである請求項4記載の半導体配線形成装置。

【請求項6】 上記基材ホルダの電位を一時的に正電位に変える電位可変手段をさらに備えた請求項3乃至5のいずれかに記載の半導体配線形成装置。

【請求項7】 上記電位可変手段は、上記直流電界に該直流電界の向きを所定期間に渡って所定の周期で反転させるパルスを重畳するものである請求項6記載の半導体配線形成装置。

【請求項8】 上記蒸発源から蒸発させられる上記半導体配線膜材料を24時間以上連続して供給可能な半導体配線膜材料供給手段を備えた請求項1乃至7のいずれかに記載の半導体配線形成装置。

【請求項9】 上記蒸発源及び半導体配線膜材料供給手段が、電子ビーム加熱と自公転多点坩堝との組み合わせ方式、電子ビーム加熱と半導体配線膜材料ワイヤ自動送り機構との組み合わせ方式、電子ビーム加熱と半導体配線膜材料ペレット自動供給機構との組み合わせ方式、抵抗加熱と自公転多点ポートとの組み合わせ方式、抵抗加熱と半導体配線材料膜ワイヤ自動送り機構との組み合わせ方式、抵抗加熱と半導体配線材料膜ペレット自動供給機構との組み合わせ方式、半導体配線材料膜自動送り機構付きアーク放電方式、イオンビーム照射方式、及びDCスパッタ方式の少なくともいずれか又はこれらを組み合わせてなるものである請求項1乃至8のいずれかに記載の半導体配線形成装置。

【請求項10】 上記蒸発源から蒸発させられる上記半導体配線膜材料を定量供給可能な半導体配線材料膜供給

手段を備えた請求項1乃至9のいずれかに記載の半導体配線形成装置。

【請求項11】 上記実質的な真空状態におけるガス圧が 10^{-3} Paのオーダーである請求項1乃至10のいずれかに記載の半導体配線形成装置。

【請求項12】 上記高周波電力を供給する回路中に、電源側のインピーダンスと負荷側のインピーダンスとを整合させるためのマッチングユニットと所定容量のコンデンサとが、上記高周波電力を供給するための他方の電極及び上記基材ホルダに直列に挿入されてなる請求項1乃至11のいずれかに記載の半導体配線形成装置。

【請求項13】 上記基材ホルダに保持されるウエハの表面に形成される上記半導体配線膜にエネルギービームを照射するためのエネルギービーム照射手段を備えた請求項1乃至12のいずれかに記載の半導体配線形成装置。

【請求項14】 上記高周波電力を供給するための他方の電極が、導電性部材で構成された真空チャンバである請求項1乃至13のいずれかに記載の半導体配線形成装置。

【請求項15】 上記ウエハの表面に配線用溝が形成されてなり、上記半導体配線膜材料が銅である請求項1乃至14のいずれかに記載の半導体配線形成装置。

【請求項16】 移載槽と、該移載槽にゲートを介してそれぞれ接続されたロードロック槽、バリア槽、銅成膜槽、及びアンロード槽とを少なくとも備え、上記ロードロック槽中に置かれるウエハを、上記移載槽中に配設された移載手段によって、上記ゲートを開閉しながら上記バリア槽及び上記銅成膜槽を順次移動させて該ウエハに所定の処理を施した後、上記アンロード槽に置くよう構成され、

上記銅成膜槽が請求項15の半導体配線形成装置で構成されてなる半導体デバイス製造装置。

【請求項17】 内部を実質的に真空状態に保持することができる真空チャンバを用い、該真空チャンバ内に配設された基材ホルダによって半導体配線膜が形成されるウエハを保持し、

上記真空チャンバ内に配置された蒸発源によって上記半導体配線膜の材料を蒸発させ、高周波電源によって上記基材ホルダを一方の電極として上記真空チャンバ内にプラズマを発生させるための高周波電力を供給する半導体配線形成方法。

【請求項18】 上記真空チャンバ内に水素又はOH基を含むガスを供給する請求項17記載の半導体配線形成方法。

【請求項19】 上記真空チャンバ内の雰囲気の水素含有率が体積比で4~20パーセントである請求項18記載の半導体配線形成方法。

【請求項20】 直流電源によって、上記基材ホルダを負の電極として上記真空チャンバ内に直流電界を形成する請求項17乃至19のいずれかに記載の半導体配線形

成方法。

【請求項21】 上記ウエハに形成される半導体配線膜の堆積状況のモニタ結果に基づいて、上記半導体配線膜の形成条件を制御する請求項20記載の半導体配線形成方法。

【請求項22】 上記半導体配線膜の形成条件が、上記半導体配線膜の堆積速度、上記高周波電力の大きさ、及び上記直流電界の強度の少なくともいずれかである請求項21記載の半導体配線形成方法。

【請求項23】 上記基材ホルダの電位を一時的に正電位に変える請求項20乃至22のいずれかに記載の半導体配線形成方法。

【請求項24】 上記直流電界に該直流電界の向きを所定期間に渡って所定の周期で反転させるパルスを重畠することにより、上記基材ホルダの電位を一時的に正電位に変える請求項23記載の半導体配線形成方法。

【請求項25】 上記半導体配線膜材料を24時間以上連続して供給可能な半導体配線膜材料供給手段によって、上記蒸発源から蒸発させられる上記半導体配線膜材料を供給する請求項17乃至24のいずれかに記載の半導体配線形成方法。

【請求項26】 上記蒸発源及び半導体配線膜材料供給手段が、電子ビーム加熱と自公転多点坩堝との組み合わせ方式、電子ビーム加熱と半導体配線膜材料ワイヤ自動送り機構との組み合わせ方式、電子ビーム加熱と半導体配線膜材料ペレット自動供給機構との組み合わせ方式、抵抗加熱と自公転多点ポートとの組み合わせ方式、抵抗加熱と半導体配線膜材料ワイヤ自動送り機構との組み合わせ方式、抵抗加熱と半導体配線膜材料ペレット自動供給機構との組み合わせ方式、半導体配線膜材料自動送り機構付きアーク放電方式、イオンビーム照射方式、及びDCスパッタ方式の少なくともいずれか又はこれらを組み合わせてなるものである請求項17乃至25のいずれかに記載の半導体配線形成方法。

【請求項27】 上記蒸発源から蒸発させられる上記半導体配線膜材料を定量供給する請求項17乃至26のいずれかに記載の半導体配線形成方法。

【請求項28】 上記実質的な真空状態におけるガス圧が 10^{-3} Paのオーダーである請求項17乃至27のいずれかに記載の半導体配線形成方法。

【請求項29】 上記高周波電力を供給する回路中に、電源側のインピーダンスと負荷側のインピーダンスとを整合させるためのマッチングユニットと所定容量のコンデンサとが、上記高周波電力を供給するための他方の電極及び上記基材ホルダに直列に插入されてなる請求項17乃至28のいずれかに記載の半導体配線形成方法。

【請求項30】 上記基材ホルダに保持されるウエハの表面に形成される上記半導体配線膜にエネルギービームを照射する請求項17乃至29のいずれかに記載の半導体配線形成方法。

10 【請求項31】 上記高周波電力を供給するための他方の電極が、導電性部材で構成された真空チャンバである請求項17乃至30のいずれかに記載の半導体配線形成方法。

【請求項32】 上記ウエハの表面に配線用溝が形成されてなり、上記半導体配線膜材料が銅である請求項17乃至31のいずれかに記載の半導体配線形成方法。

【請求項33】 請求項17に記載の半導体配線形成方法によってウエハ上にシード膜を形成する工程と、該シード膜を用いて、湿式メッキにより該ウエハ上に半導体配線膜を形成する工程とを含んでなる半導体配線形成方法。

【請求項34】 上記シード膜の下層としてバリア層を形成し、上記シード膜及び上記半導体配線膜の材料として銅を用いてなる請求項33記載の半導体配線形成方法。

【請求項35】 移載槽と、該移載槽にゲートを介してそれぞれ接続されたロードロック槽、バリア槽、銅成膜槽、及びアンロード槽とを少なくとも用い、

20 上記ロードロック槽中に置かれるウエハを、上記移載槽中に配設された移載手段によって、上記ゲートを開閉しながら上記バリア槽及び上記銅成膜槽を順次移動させて該ウエハに所定の処理を施した後、上記アンロード槽に置くステップを含み、

上記銅成膜槽における所定の処理が請求項32の半導体配線形成方法からなる半導体デバイス製造方法。

【請求項36】 ウエハ又は該ウエハ上に形成された層の表面に形成された幅が略0.35μmで深さが略1μmの溝に、銅からなる配線膜材料がドライプロセスによって略100%充填されてなるウエハ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体配線形成方法及び装置、半導体デバイス製造方法及び装置、並びにウエハに関し、特に、ウエハ上に形成された溝に埋め込むように配線を形成するものに関する。

【0002】

【従来の技術】VLSIの分野では、ダマシンプロセスと呼ばれる配線形成方法が実現されている。このダマシンプロセスは、層間絶縁膜中に配線溝、コンタクトホール、スルーホール（ビアホール）等を形成した後、それらに銅を充填することにより、層間絶縁膜に埋め込まれた配線系を実現するものである。これにより、配線の段差がなく表面が平坦化されたICが得られるとともに、低抵抗で高信頼性のメタル配線系が実現される。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、このダマシンプロセスでは、一般に、層間絶縁膜中の配線溝等に銅を充填するのに湿式メッキが採用されている。この湿式メッキでは、高アスペクト比の配線溝に銅を充填するこ

とができるという利点がある。

【0004】しかし、湿式メッキではシード膜が必要であり、そのシード膜自体は湿式メッキ以外の成膜方法によって形成されるため、配線溝のアスペクト比が高くなるとその配線溝にシード膜を均一に形成することが困難になる。そして、シード膜が不均一であると、膜厚の薄い部分がメッキ電流により溶融して消失し、それによってボイドが発生し易くなる。従って、湿式メッキではアスペクト比が高くなる程ボイドが発生し易くなる。また、ダマシングロセスでは、配線溝等に銅を充填した後にCMP(化学的機械研磨: chemical and mechanical polishing)によってウエハ表面を平坦化しているが、この処理において、湿式メッキにより形成された銅膜は柔らかくて直接研磨できないため、熱処理によって硬化するとともにリフローによって膜表面の段差を少なくした後研磨している。従って、余分な工数が掛かるという問題がある。また、ダマシングロセスでは、層間絶縁膜中の銅の拡散を防止するためにバリア層が設けられるが、アスペクト比の高い、換言すれば幅の狭い配線溝では、配線抵抗を低減するためにこのバリア層の幅は狭い方が好ましい。しかし、湿式メッキでは、一定の厚みが必要である。また、湿式メッキでは、廃液によって環境を汚染する可能性がある。

【0005】一方、特開2000-64028号公報には、プラズマビームによって銅からなる蒸発物質を蒸発させるイオンプレーティングにより、ドライプロセスで高アスペクト比の溝に配線材料を充填する銅成膜法が開示されている。このCu成膜法によれば、ドライプロセスであるため、環境汚染の問題は解消され、また、湿式メッキに固有の現象であるボイドの発生も回避できるものと考えられる。

【0006】しかし、この銅成膜法では、蒸発した物質(銅)のエネルギーはスパッタリングとほとんど変わらないため、ウエハ上に形成される銅膜の硬さの向上はさほど期待できず、そのため、熱硬化処理及びリフローによる表面平滑化処理の省略並びにバリア層の厚みの低減が可能か否かは不明である。また、この銅成膜法では、蒸発した物質のイオン化を、蒸発物質を蒸発させるプラズマビームによって行っているので、蒸発した物質のイオン化を、蒸発物質の蒸発から独立して制御することができず、そのため、必ずしも最適な条件で成膜することができない。

【0007】本発明は、上記のような課題を解決するためになされたもので、熱硬化処理及び表面平滑化処理の省略、バリア層の厚みの低減、並びに最適な条件で高アスペクト比の溝に配線を形成することが可能な半導体配線形成方法及び装置、半導体デバイス製造方法及び装置、並びにウエハを提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため

に、本発明に係る半導体配線形成方法及び装置は、内部を実質的に真空状態に保持することが可能な真空チャンバを用い、該真空チャンバ内に配設された基材ホルダによって半導体配線膜が形成されるウエハを保持し、上記真空チャンバ内に配置された蒸発源によって上記半導体配線膜の材料を蒸発させ、高周波電源によって上記基材ホルダを一方の電極として上記真空チャンバ内にプラズマを発生させるための高周波電力を供給するものである(請求項1、17)。かかる構成とすると、蒸発源から蒸発した半導体配線膜材料がプラズマによって励起されるとともに、真空チャンバ内の高周波電界によって生じるセルフバイアスによって著しく加速され、ウエハの表面に衝突してそこに堆積する。従って、ウエハ上に堆積される半導体配線膜が緻密で密着性の良好なものとなる。その結果、半導体配線膜の熱硬化処理及び表面平滑化処理の省略、バリア層の厚みの低減が可能になる。また、蒸発した半導体配線膜材料の直進性が良好なものとなり、さらに、真空チャンバ内のプラズマの発生状態を独立して制御することができる。よって、ウエハ上に配線溝が形成されている場合に、従来例に較べてアスペクト比が高い溝でも良好に半導体配線膜材料を充填することができる。

【0009】この場合、上記真空チャンバ内に水素又はOH基を含むガスを供給してもよい(請求項2、18)。かかる構成とすると、プラズマによって励起された半導体配線膜材料にマイグレーション効果を与えることができ、それにより、ウエハ上に形成される半導体配線膜をより緻密で低抵抗なものとすることができる。

【0010】この場合、上記真空チャンバ内の雰囲気の水素含有率が体積比で4~20パーセントであるとしてもよい(請求項19)。かかる構成とすると、マイグレーション効果を有効に得ることができる。

【0011】また、直流電源によって、上記基材ホルダを負の電極として上記真空チャンバ内に直流電界を形成してもよい(請求項3、20)。かかる構成とすると、プラズマによって励起された半導体用材料を直流電界によってさらに加速することができるので、該半導体用材料の直進性がより向上し、ウエハ表面の溝により良好に半導体配線膜材料を充填することができる。

【0012】この場合、上記ウエハに形成される半導体配線膜の堆積状況のモニタ結果に基づいて、上記半導体配線膜の形成条件を制御してもよい(請求項4、21)。かかる構成とすると、半導体配線膜の堆積カーブを所望のものに制御することができる。その結果、最適な堆積カーブで半導体配線膜を形成することができる。

【0013】また、この場合、上記半導体配線膜の形成条件が、上記半導体配線膜の堆積速度、上記高周波電力の大きさ、及び上記直流電界の強度の少なくともいずれかであるとしてもよい(請求項5、22)。かかる構成とすると、ウエハ上に半導体配線膜材料を好適に成膜す

することができる。

【0014】また、上記基材ホルダの電位を一時的に正電位に変えてもよい（請求項6、23）。半導体配線膜が絶縁体上に形成される場合には、イオン化された半導体配線膜材料が互いに反発しあって錐体状に堆積され易いが、かかる構成とすると、ウエハ近傍の電界の方向が一時的に反転して一旦堆積した半導体配線膜材料がウエハ表面から離れて再度ウエハ表面に付着するとともにその際に並び直すので、半導体配線膜材料がウエハ表面に略平行に順次層状に堆積される。その結果、さらに緻密な半導体配線膜が得られる。

【0015】また、上記直流電界に該直流電界の向きを所定期間に渡って所定の周期で反転させるパルスを重畠することにより、上記基材ホルダの電位を一時的に正電位に変えてもよい（請求項7、24）。

【0016】また、上記半導体配線膜材料を24時間以上連続して供給可能な半導体配線膜材料供給手段によって、上記蒸発源から蒸発させられる該半導体配線膜材料を供給してもよい（請求項8、25）。かかる構成とすると、成膜を持続する際にネックとなる蒸発材料たる半導体配線膜材料の補給が、24時間以上連続して可能になるので、ウエハ上に半導体配線膜材料を成膜する際に要求される24時間以上の連続運転が可能となる。

【0017】また、上記蒸発源及び半導体配線膜材料供給手段が、電子ビーム加熱と自公転多点坩堝との組み合わせ方式、電子ビーム加熱と半導体配線膜材料ワイヤ自動送り機構との組み合わせ方式、電子ビーム加熱と半導体配線膜材料ペレット自動供給機構との組み合わせ方式、抵抗加熱と自公転多点ポートとの組み合わせ方式、抵抗加熱と半導体配線膜材料ワイヤ自動送り機構との組み合わせ方式、抵抗加熱と半導体配線膜材料ペレット自動供給機構との組み合わせ方式、半導体配線膜材料自動送り機構付きアーク放電方式、イオンビーム照射方式、及びDCスパッタ方式の少なくともいずれか又はこれらを組み合わせてなるものであるとしてもよい（請求項9、26）。かかる構成とすると、半導体配線膜材料を24時間以上連続して供給可能な蒸発源及び半導体配線膜材料供給手段を容易に実現することができる。

【0018】また、上記蒸発源から蒸発させられる上記半導体配線膜材料を定量供給するものとしてもよい（請求項10、27）。かかる構成とすると、ウエハ上に形成される半導体配線膜の膜厚を的確に制御することができる。

【0019】また、上記実質的な真空状態におけるガス圧が 10^{-3} Paのオーダーであるとしてもよい（請求項11、28）。かかる構成とすると、アスペクト比が高い溝に好適に半導体配線膜材料を充填することができる。

【0020】また、上記高周波電力を供給する回路中に、電源側のインピーダンスと負荷側のインピーダンス

とを整合させるためのマッチングユニットと所定容量のコンデンサとが、上記高周波電力を供給するための他方の電極及び上記基材ホルダに直列に挿入されてなるものとしてもよい（請求項12、29）。かかる構成とすると、真空チャンバ内に高周波電力によるプラズマを安定して発生させることができる。

【0021】また、上記基材ホルダに保持されるウエハの表面に形成される上記半導体配線膜にエネルギーbeamを照射するようにもよい（請求項13、30）。かかる構成とすると、ウエハの表面に形成される半導体配線膜のエネルギーが高められて、その分子が隙間なく並ぼうとするので、その半導体配線膜がさらに緻密なものとなる。

【0022】また、上記高周波電力を供給するための他方の電極が、導電性部材で構成された真空チャンバであるとしてもよい（請求項14、31）。かかる構成とすると、真空チャンバ内に比較的広くプラズマが分布するため、ウエハ表面への半導体配線膜材料の付き回り性が向上する。

【0023】また、上記ウエハの表面に配線用溝が形成されてなり、上記半導体配線膜材料が銅であるとしてもよい（請求項15、32）。かかる構成とすると、従来に較べて高アスペクト比のウエハ上の溝中に銅配線膜を形成することができる。

【0024】また、本発明に係る半導体配線形成方法は、請求項17に記載の半導体配線形成方法によってウエハ上にシード膜を形成する工程と、該シード膜を用いて、湿式メッキにより該ウエハ上に半導体配線膜を形成する工程とを含んでなるものである（請求項33）。かかる構成とすると、シード膜を形成する際に、ウエハの表面を包むようにプラズマの雲が位置するので、蒸発材料のウエハ表面への付き回り性が良好なものとなり、そのためシード膜が、ステップカバレージの良好なものとなる。その結果、その後湿式メッキによって形成される銅配線がステップカバレージが良好なものとなり、かつ銅配線中のボイドの発生が低減される。

【0025】この場合、上記シード膜の下層としてバリア層を形成し、上記シード膜及び上記半導体配線膜の材料として銅を用いてなるものとしてもよい（請求項34）。かかる構成とすると、シード膜及びバリア層が緻密で硬いものとなるため、シード膜の銅がバリア層に拡散し難くなるとともに、バリア層の銅拡散阻止性能が向上するので、両方の効果が相俟って、バリア層の厚みを従来に較べて薄くすることが可能になる。その結果、バリア層の厚みが低減される分、配線抵抗を低減することができる。

【0026】また、本発明に係る半導体デバイス製造方法及び装置は、移載槽と、該移載槽にゲートを介してそれぞれ接続されたロードロック槽、バリア槽、銅成膜槽、及びアンロード槽とを少なくとも用い、上記ロード

ロック槽中に置かれるウエハを、上記移載槽中に配設された移載手段によって、上記ゲートを開閉しながら上記バリア槽、及び上記銅成膜槽を順次移動させて該ウエハに所定の処理を施した後、上記アシロード槽に置くステップを含み、上記銅成膜槽における所定の処理が請求項32の半導体配線形成方法からなり又は上記銅成膜槽が請求項15の半導体配線形成装置で構成されてなるものである（請求項16、35）。かかる構成とすると、ドライプロセスによって、ウエハ上に好適に銅配線を形成することができる。

【0027】また、本発明に係るウエハは、ウエハ又は該ウエハ上に形成された層の表面に形成された幅が略0.35μmで深さが略1μmの溝に、銅からなる配線膜材料がドライプロセスによって略100%充填されてなるものである（請求項36）。かかる構成とすると、高密度で相対的に低抵抗な半導体デバイス用配線を提供することができる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明する。

実施の形態1

図1は本発明の実施の形態1に係る半導体配線形成装置の構成を示す模式図、図2は図1の半導体配線形成装置におけるバイアス電圧の波形を示す波形図、図3は図1の半導体配線装置における基材ホルダ—蒸発源間の電位分布を示す模式図、図4は図1の半導体配線形成装置における蒸発源及び蒸発材料供給装置の構成を示す模式図である。

【0029】図1において、本実施の形態に係る半導体配線形成装置1は、ウエハ上に配線を形成するのに適合するよう構成されたイオンプレーティング装置からなり、真空チャンバ2を有している。真空チャンバ2は、導電性部材で構成され、その内部にウエハ201を装着するための基材ホルダ3が配設されている。基材ホルダ3は、導電性材料で構成され、その中心部が回転軸5の一端に固定されている。回転軸5は、導電性材料で構成され、真空チャンバ2の壁部に軸受け6によって回動自在に取り付けられている。そして、回転軸5の真空チャンバ2外に突出した他端はモータ7の主軸に接続されている。これにより、基材ホルダ3がモータ7によって回転駆動される。軸受け6と真空チャンバ2との間及び回転軸5の他端とモータ7の主軸との間には図示されない絶縁部材によって絶縁されている。回転軸5の真空チャンバ外の部分にはブラシ8を介して高周波電源10及びバイアス電源装置11の一方の出力端子（図示せず）がそれぞれ接続されている。つまり、高周波電源10及びバイアス電源装置11はブラシ8に対し互いに並列に接続され、ブラシ8と高周波電源10との間には、直列に接続されたマッチングコンデンサC及びマッチングユニット9が挿入され、一方、ブラシ8とバイアス電源装置11との間には、

高周波阻止用のローパスフィルタ14が挿入されている。高周波電源10及びバイアス電源装置11の他方の端子（図示せず）は接地され、それにより、同じく接地された真空チャンバ2に接続されている。かくして、高周波電源10の出力端子間に放電用電極としての基材ホルダ3及び真空チャンバ2がマッチングユニット9及びマッチングコンデンサCを介して接続された高周波プラズマ発生回路が形成され、その放電用電極たる基材ホルダ3と真空チャンバ2との間にバイアス電源装置11によって所定のバイアス電圧をローパスフィルタ14を介して印加するバイアス回路が形成されている。

【0030】また、真空チャンバ2の内部には、基材ホルダ3に対向するように、ウエハ201上に形成される配線膜の材料（半導体配線膜材料：以下、配線材料という）を蒸発させる蒸発源4が配置され、この蒸発源4は蒸発エネルギーを供給するための蒸発電源15に接続されている。そして、蒸発源4は、蒸発材料供給装置（配線材料供給手段）16から配線材料を供給されるように構成されている。蒸発電源15及び蒸発材料供給装置16は、真空チャンバ2の内部及び外部のいずれに設置されても構わないが、ここでは、蒸発電源15は真空チャンバ2の外部に、蒸発材料供給装置16は真空チャンバ2の内部に設置されている。

【0031】また、真空チャンバ2内の基材ホルダ3の近傍には、膜厚モニタ19が設置されている。

【0032】さらに、真空チャンバ2には真空ポンプ17とガス供給源18とが接続されており、それにより、真空チャンバ2内を所定の真空中に保持するとともに、ガス供給源18から所定のガスを真空チャンバ2内に導入するようになっている。ガス供給源18から導入されるガスは、水素（H₂）ガス又はOH基ガスであり、ここでは、水素ガスである。

【0033】そして、モータ7、高周波電源10、バイアス電源12、波形発生器13、蒸発電源15、蒸発材料供給装置16、真空ポンプ17、及びガス供給源18がコンピュータからなる制御装置20によって制御されている。また、膜厚モニタ19の出力が制御装置20に入力されている。

【0034】次に、半導体配線形成装置1の各部の構成を詳細に説明する。

【0035】ウエハ201は、最終的に半導体デバイスに加工されるもので、本実施の形態では、図17(b)に示すように、シリコン（Si）で構成され、その表面に二酸化シリコン（SiO₂）からなる絶縁層202が形成されている。そして、絶縁層202の表面に配線溝203が形成され、この配線溝203が形成された絶縁層202の表面全体を薄く覆うようにバリア層204が形成されている。バリア層204は、絶縁層202に銅（Cu）が拡散するのを防止するためのもので、TaN、TiN等で構成されている。

【0036】高周波電源10は、ここでは、13.56MHzの周波数の高周波電力を出力する。マッチングユニット9

11

は、周知のもので構成され、成膜の進行に伴う基材ホルダ3と真空チャンバ2との間のインピーダンスの変化に追隨しながら、その負荷側のインピーダンスを電源側のインピーダンスに整合させる。マッチングコンデンサCは、直流を阻止するとともに、マッチングユニット9から見た負荷側のインピーダンスに所定の固定容量を与えて、マッチングユニット9の使用可能範囲を広げるものである。このマッチングコンデンサCの容量を適宜選択することにより、負荷、すなわち基材たるウエハ201及びその成膜条件が変化してもマッチングユニット9によるマッチング動作を良好に遂行させることができ、その結果、高真空度下においても、安定してプラズマを立てることができる。マッチングコンデンサCの容量は、ここでは、マッチングユニット9内のコンデンサの容量と同じ約1000pFとされる。

【0037】バイアス電源装置11は、波形発生器13とバイアス電源12とを有している。波形発生器13は、所定の波形を有する電圧信号を発生し、この発生した電圧信号をバイアス電源12が増幅してバイアス電源装置11の出力端子から出力する。バイアス電源装置11から出力されるバイアス電圧は、ここでは、図2に示すように、期間T1に渡って負の値-Vn、期間T2に渡って正の値+Vpの値を取る矩形波の波形を有している。換言すれば、このバイアス電圧は、-Vnの負の直流バイアス電圧に、高さ(Vn+Vp)、幅T2、及び周期T(=T1+T2)の正の矩形波パルスが重畠されてなるものである。従って、バイアス電源装置11は、特許請求の範囲にいう直流電源装置の一種である。+Vp及び-Vnの値は、0v～2000vの範囲内で成膜条件に応じて適宜選択される。正の矩形波パルスのデューティファクタ(T2/T)は40%以下とするのが望ましい。これ以上になると、高周波プラズマを減衰させて成膜効率を低下させる懼があるからである。また、正の矩形波パルスの周波数(=1/T)は、1KHz以上1GHz以下とするのが望ましい。1KHz以下では、バイアスが正の値を取る頻度が少ないため、ウエハ201周辺に捕捉され蓄積された正電荷を中和する前にそこに絶縁破壊を起こす電界が形成されてしまい、一方、1GHz以上では、正の矩形波パルスを印加するタイミングの調整が困難となるからである。

【0038】蒸発源4及び蒸発材料供給装置16は、図4に示すように、電子ビーム発生器43と自公転多点坩堝40とで構成されている。自公転多点坩堝40は、所定量の配線材料(ここでは銅)を収容する複数(ここでは4つ)の坩堝42a～42dがそれぞれ自転するとともに共通の公転軸41の回りに公転するように構成され、その自転及び公転の駆動源であるモータ(図示せず)が図1の制御装置20に接続されている。なお、複数の坩堝42a～42dを自公転させる機構は周知の遊星歯車機構を用いて実現できるので、ここではその説明を省略する。電子ビーム発生器

12

43は、図1の蒸発電源15に接続され、公転する4つの坩堝42a～42dのうち、所定位置に位置するもの(図4では坩堝42a)に電子ビーム44を照射してその中の配線材料を加熱溶融して蒸発させる。そして、このように4つの坩堝42a～42dを備えることで、24時間以上連続して蒸発材料を供給することが可能となっている。

【0039】膜厚モニタ19は、基材ホルダ3に装着されるウエハ201上に形成される配線材料層205(図17(c)参照)の膜厚を監視するためのもので、ここでは、水晶振動子で構成されている。そして、制御装置20は、この膜厚モニタ19としての水晶振動子の振動数、すなわち水晶振動子の発振周波数を検出している。この構成によれば、膜厚モニタ19に蒸発した配線材料が堆積するとその厚みに応じて、該膜厚モニタ19の発振周波数が低下するので、それによって、ウエハ201上に形成される配線材料層205の膜厚を監視することができる。

【0040】次に、以上のように構成された半導体配線形成装置の動作(半導体配線形成方法)を説明する。

【0041】図1～図4において、真空チャンバ2内の基材ホルダ3にウエハ201を装着し、半導体配線形成装置1を起動すると、半導体配線形成装置1は制御装置20に制御されて以下の動作を自動的に行う。

【0042】まず、モータ7が動作して基材ホルダ3が回転する。一方、真空ポンプ17が動作して真空チャンバ2内が所定の真空度まで排気され、次いでガス供給源18から水素ガスが真空チャンバ2内に導入される。所定の真空度は、ここでは、 10^{-3} Paである。また、真空チャンバ2内の雰囲気の水素含有率は、体積比で4～20パーセントの範囲内で一定に維持される。水素含有率が4パーセント以上で後述するマイグレーション効果が有効なものとなり、水素含有率が20パーセントを超えるのは、防爆性の観点から好ましくないからである。

【0043】次いで、高周波電源10が動作して、真空チャンバ2と基材ホルダ3との間に高周波電圧が印加され、それにより、真空チャンバ2内にプラズマ301が形成される。次いで、バイアス電源装置11が動作して真空チャンバ2と基材ホルダ3との間に図2に示すバイアス電圧が印加され、それにより、期間T1に渡って真空チャンバ2から基材ホルダ3に向かい、期間T1より短い期間T2に渡ってその逆方向に向かい、かつこれらが周期Tで繰り返される電界が形成される。

【0044】次いで、蒸発源4及び蒸発材料供給装置16たる電子ビーム発生器43及び自公転多点坩堝40が動作し、自公転する坩堝42a～42d中の配線材料に電子ビーム発生器43から電子ビーム44が照射されて、坩堝42a～42d中から配線材料が蒸発する。

【0045】ここで、期間T1における蒸発源4と基材ホルダ3との間における電位Vpの分布は、図3に示すように、蒸発源4から基材ホルダ3に近づくに連れて、まず、若干の正電位まで上昇し、そこからほぼ一定とな

り、基材ホルダ3の極近傍に至るとそこからある負電位まで急激に降下する。この電位Vpの分布は主に高周波電圧によるセルフバイアスによってもたらされるものである。このような状況下にある期間T1においては、上記蒸発した原子状の配線材料は蒸発エネルギーによってプラズマ301を中を通過するとともにその間にプラズマ301により励起され、基材ホルダ3近傍の急峻な電界により著しく加速されてウエハ201の表面に衝突し、そこに付着して堆積する。この際、蒸発した配線材料はプラズマ301により励起されるとともにセルフバイアスを主とする電界によって著しく加速されるので、ウエハ201上に形成される膜が緻密で密着性の良好なものとなる。また、このセルフバイアスと上記バイアス電圧とが重畠された電界は、ウエハ201の表面に概ね垂直な方向を有するので、直進性が良く、そのため、図17(c)に示すように、ウエハ201の表面に形成された高アスペクト比の配線溝203に高割合で充填される。また、ウエハ201上に堆積した配線材料層205は、水素ガスによるマイグレーション効果によってさらに緻密で低抵抗なものとなる。

【0046】次いで、時間の経過とともに、ウエハ201上に堆積する配線材料層205の厚みが増加する。すると、この間に、膜厚モニタ19上にも配線材料からなる膜が堆積し、それに連れて膜厚モニタ19の発振周波数が低下するので、制御装置20は、それに応じて、成膜パラメータを変化させる。すなわち、制御装置20は、膜厚モニタ19の発振周波数の低下に応じ、蒸発電源15を制御して成膜レートを変化させ、あるいは高周波電源10及びバイアス電源装置11を制御して成膜条件を変化させる。この成膜レート及び成膜条件、すなわち成膜パラメータは、ウエハ201の構造に応じてそれに最適なものが予め求められ、その時間軸に対する変化カーブが設定されている。これは、この成膜パラメータを最適に制御することによって、初めて、ウエハ201上に形成される配線材料層205の品質及び配線溝203への充填割合がベストなものとなるからである。

【0047】また、この間に、基材ホルダ3と真空チャンバ2との間のインピーダンスが変化するが、マッチングコンデンサCの存在によってマッチングユニット9による負荷側と電源側とのインピーダンスの整合が好適に遂行されるので、異常放電を生じることなく安定してプラズマが維持される。さらに、この間における期間T1中にウエハ201上に堆積する配線材料層205では、絶縁層202の存在によりイオン化された配線材料の電荷が放出され難いためその配線材料が互いに反発しあって錐体状に堆積され易いが、期間T2中にウエハ201近傍の電界の方向が反転して一旦堆積した配線材料がウエハ201の表面(正確には放電した配線材料の堆積層の表面)から離れて再度ウエハ201表面に付着するとともにその際に並び直すので、配線材料がウエハ201の表面に略平行に順次層状に堆積される。その結果、さらに緻密な配線材料

層205が得られる。

【0048】また、蒸発材料供給装置16として4つの坩埚42a～42dを備えた多点坩埚40を用いているので、1つの坩埚を備える場合に比べて4倍の蒸発材料を真空チャンバ2内に蓄えることができるため、24時間以上連續して成膜を行うことができる。なお、24時間以上という要求は、夜間に半導体配線形成装置1を停止させる必要を回避するために求められるものである。

(実施例1) 図5は、本実施例による半導体配線形成方法によるウエハ上の配線溝への配線材料の充填状態を示す断面写真、図6は図5の断面写真のスケッチである。

【0049】図5及び図6を参照して、本実施例では、シリコンからなるウエハ60上に二酸化シリコンからなる絶縁層61が形成され、この絶縁層61に配線溝62が形成されている。従って、バリア層は省略されている。この配線溝62は、深さが1μmで幅が0.35μmである。このような配線溝62を有するウエハ60上に、上述の半導体配線形成装置1を用いて配線材料たる銅の薄膜を形成した。この時の、真空チャンバ2の真空度(ガス圧)は、20 10⁻³Paであった。その結果、図5及び図6に示すように、ウエハ60の配線溝62が形成された絶縁層61の表面を覆うように銅からなる薄膜63が形成された。この場合、配線溝62にはほぼ100%銅(薄膜63)が充填されていた。また、配線溝62中に充填された銅にはボイド等の欠陥は見られなかった。従来、ドライプロセスによって、深さが1μmで幅が0.35μmの配線溝に銅を完全に充填することは不可能であった。

(実施例2) 図7は本実施例による半導体配線形成方法によってウエハ上に形成された薄膜の表面を研磨した状態を示す断面写真である。

【0050】図7を参照して、本実施例では、上述の半導体配線形成方法に従って配線溝62を有するウエハ上に銅からなる薄膜(以下、銅膜といいう)63を形成し、そのままの銅膜(熱硬化処理を施さない銅膜)63の表面をCMPに用いる機械的研磨手段によって研磨した。その結果、図7に示すように、銅膜63の表面に研磨による平坦部63aがきれいに形成された。これを湿式メッキによる銅膜と比較すると、湿式メッキによる銅膜は柔らかいため、これを熱硬化処理を施さない機械的に研磨すると、銅膜表面の凸部が凹部に倒れ込んで、表面が荒れてしまい、きれいに平坦化することができない。そこで、銅膜に熱硬化処理及びリフローによる表面平滑化処理を施した後、機械的研磨をしている。よって、本実施例によれば、この熱硬化処理及び表面平滑化処理を省略することができる。

【0051】以上の結果から、本実施の形態に係る半導体配線形成装置及び方法が、特に半導体デバイスの銅配線を形成するのに好適なものであることが判る。

【0052】次に、本実施の形態の変形例を説明する。

【0053】図8は、本実施の形態の蒸発源及び蒸発材

料供給装置の第1の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【0054】図8に示すように、本変形例では、上記構成例の多点坩堝40に代えて、通常の1つの坩堝42と蒸発材料供給装置16としてのワイヤ自動送り装置58とを備えている。ワイヤ自動送り装置58は、真空チャンバ内に設置され、配線材料からなるワイヤ57がリール53に巻かれ、この巻かれたワイヤ57が送りローラ55によってフィーダ54を介してリール53から引き出され、この引き出されたワイヤ57がガイドパイプ56を通ってその先端から坩堝42の中に供給されるように構成されている。そして、送りローラの駆動モータ(図示せず)が図1の制御装置20に接続されている。このように構成された本変形例では、このワイヤ自動送り装置58から坩堝42中に供給されるワイヤ57状の配線材料が電子ビーム発生器43からの電子ビーム44によって蒸発させられる。そして、その蒸発材料が真空チャンバ内のワイヤ自動送り装置58にワイヤとして蓄えられているので、24時間以上連続して蒸発材料を供給することができる。

【0055】図9は、本実施の形態の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第2の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【0056】図9に示すように、本変形例では、蒸発材料供給装置16として、ワイヤ自動送り装置58に代えて、ペレット自動供給装置70を備えている点で第1の変形例と異なり、その他の点は第1の変形例と同様である。ペレット自動供給装置70は、配線材料からなるペレット73がホッパ71中に貯蔵され、その貯蔵されたペレット73がガイド樋72を通って坩堝42中に供給されるように構成されている。そして、ホッパ71のペレット投下用ゲートを駆動するモータ(図示せず)が図1の制御装置20に接続されている。このような構成としても、蒸発材料が真空チャンバ内のペレット自動供給装置70にペレットとして蓄えられているので、24時間以上連続して蒸発材料を供給することができる。

【0057】図10は、本実施の形態の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第3の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【0058】図10に示すように、本変形例では、蒸発源4として、電子ビーム発生器43に代えて、抵抗加熱装置75を備えた点で第1の変形例と異なり、その他の点は第1の変形例と同様である。抵抗加熱装置75は、一対の電極76,77の先端間に蒸発材料を収容するポート78が架設されて構成されている。そして、一対の電極76,77が図1の蒸発電源15に接続されている。このように構成された本変形例では、一対の電極76,77を介してポート78中に流れる電流によって、該ポート78中に供給されるワイヤ57状の配線材料が加熱され蒸発させられる。このような構成としても、第1の変形例と同様に、24時間以上連続して蒸発材料を供給することができる。

【0059】図11は、本実施の形態の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第4の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【0060】図11に示すように、本変形例では、蒸発材料供給装置16として、ワイヤ自動送り装置58に代えて、ペレット自動供給装置70を備えている点で第3の変形例と異なり、その他の点は第3の変形例と同様である。このような構成としても、第3の変形例と同様に、24時間以上連続して蒸発材料を供給することができる。

【0061】図12は、本実施の形態の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第5の変形例の構成を模式的に示す断面図である。

【0062】図12において、本変形例では、蒸発源4及び蒸発材料供給装置16として、それぞれ、アーク蒸発源80及びカソード送り機構401を備えている。

【0063】アーク蒸発源は、真空チャンバ2の壁部2aに形成された凹部2bに配設された円筒状のアノード83と、真空チャンバ2の壁部2aの該凹部2bに位置する部分に形成された貫通孔86を挿通する円柱状のカソード82とを備えている。アノード83は、先端面83bが閉鎖されるとともに先端部の周面83aに多数の貫通孔83cが形成され、タングステン等の耐熱性の導電材料で構成されている。カソード82は、配線材料で構成され、先端部がアノード83内に位置しつつアノード83と中心軸89を共有するよう配置されている。また、カソード82は、その基端をカソード送り機構(図12にはその一部のみを示す)401に保持されるとともに該カソード送り機構401によって進退させられるよう構成されている。さらに、真空チャンバ2の貫通孔86の内周面にはOリング等のシール部材87が配設され、それにより、カソード82が該貫通孔86に対し、気密的に摺動可能になっている。そして、アノード83及びカソード82が、蒸発電源としての直流アーク電源15の正極端子及び負極端子にそれぞれ接続されている。また、カソード送り機構401の駆動モータ(図示せず)は図1の制御装置20に接続されている。

【0064】このように構成された本変形例では、直流アーク電源15によって印加されるアーク電圧によってアノード83とカソード82との間にアーク放電が発生し、それによりカソード82を構成する配線材料が蒸発して、アノード83の貫通孔83cからその外部に流出する。そして、カソード82がその蒸発による消耗に応じて、カソード送り機構401によって前進する。従って、カソード82の長さを十分長くすることにより、24時間以上連続して蒸発材料を供給することができる。

【0065】なお、蒸発源4及び蒸発材料供給装置16として、自公転する多点坩堝40に代えて、これと同様に自公転する複数のポートを備えた抵抗加熱装置を用いてもよい。また、周知のDCスパッタ方式を用いてもよい。これらによても、24時間以上連続して蒸発材料を供

給することができる。

【0066】図13は、本実施の形態の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第6の変形例の構成を示す模式図である。

【0067】図13に示すように、本変形例では、真空チャンバ2内に配設された回転テーブル503上に蒸発材料からなる板状のターゲット502が載置されている。そして、真空チャンバ2の壁部2aに形成された凹部2cにイオンガン501が配設され、このイオンガン501が制御装置20の制御によってプラスのイオンビーム504をターゲット502に向けて照射するように構成されている。このイオンビーム504の照射によりターゲット502から蒸発材料が蒸発する。本変形例では、ターゲット502及びイオンガン501が図1の蒸発源4及び蒸発材料供給装置16を構成しており、ターゲット502を十分大きくすることにより、24時間以上連続して蒸発材料を供給することができる。

【0068】図14は、本実施の形態の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第7の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【0069】図14に示すように、本変形例は、第2の変形例のペレット自動供給装置70において、ホッパに代えて蒸発材料定量供給装置79を設けたものである。蒸発材料定量供給装置79は、一般的のパーツフィーダと同様の構成を有し、供給対象物として、一般的のパーツに代えて配線材料からなるペレット73が収容されている。一般的のパーツフィーダの構成は周知であるので、ここでは蒸発材料定量供給装置79の構成の詳しい説明は省略するが、蒸発材料定量供給装置79は、収容するペレットを内蔵するバイブレータによって加振しながら供給口へ導出し、そのバイブレータの作動時間及び強度を制御装置20を介して制御することにより、ペレットの供給量を制御できるように構成されている。これにより、24時間以上連続して蒸発材料を供給することができる他、蒸発材料を定量供給することができる。その結果、イオンプレーティングではウエハ上に形成される薄膜の膜厚が実質的に蒸発材料の供給量で決まることから、薄膜の膜厚を的確に制御することが可能になる。

実施の形態2

図15は、本発明の実施の形態2に係る半導体デバイス製造装置の構成を模式的に示す平面図である。

【0070】図15に示すように、半導体デバイス製造装置は、真空室92と該真空室92に隣接して設けられたクリーン室91とを備えている。クリーン室91を挟んで真空室92に対向するスペースには、クリーン室91に沿ってX方向に第1のヤード94、アライナ96、及び第2のヤード95が順に形成され、ウエハを収容するカセット93がこれらを順次通過するようになっている。

【0071】クリーン室91にはX方向にレール90が配設され、このレール90上をクリーンロボット97が移動する

ようになっている。一方、真空室92中には移載槽99が設けられ、この移載槽99にゲート104を介してロードロック槽98、バリア槽102、銅成膜槽101、及びアンロード槽103がそれぞれ接続されている。これらの各槽98, 99, 101, 102, 103は内部が所定の真空中に保持されている。そして、ロードロック槽98及びアンロード槽103はゲート104を介してそれぞれクリーン室91に接続されている。ロードロック槽98は、X方向においてアンロード槽103より上流側に配置されている。また、銅成膜槽101は実施10の形態1の半導体配線形成装置1で構成され、移載槽99中には真空ロボット100が配設されている。

【0072】次に、以上のように構成された半導体デバイス製造装置の動作（半導体デバイス製造方法）を図15及び図17を用いて説明する。図17は半導体デバイスの配線の形成方法を示す工程別断面図である。また、以下の動作は全て図示されない制御装置により制御されて自動的に遂行される。

【0073】図15及び図17を参照して、カセット93は本工程における加工前のウエハ201を収容しており、20X方向における上流側から移動して来る。この加工前のウエハ201上には、図17(a)に示すように二酸化シリコンからなる絶縁層202が形成され、その絶縁層202の表面に高アスペクト比の配線溝203が形成されている。カセット93は、第1のヤード94に来るとそこで停止する。すると、クリーンロボット97がレール90上をカセット93の前まで移動してそこから加工前のウエハ201を取り出し、その後ロードロック槽98の前まで移動する。すると、ロードロック槽98へのゲート104が開き、クリーンロボット97が加工前のウエハ201をロードロック槽98中に置く。一方、カセット93は、アライナ96に移動してそこで整備された後、第2のヤード95へ移動し、そこで待機する。

【0074】次いで、ゲート104が閉まり、ロードロック槽98が所定の真空中に排気される。次いで、移載槽99との間のゲート104が開閉されてその間に真空ロボット100により加工前のウエハ201がロードロック槽98から取り出される。次いで、バリア槽102との間のゲート104が開閉されてその間に真空ロボット100により加工前のウエハ201がバリア槽102中に置かれる。

【0075】次いで、バリア槽102中でウエハ201の絶縁層202上にバリア層204が形成される。バリア層204は、TaN、TiN等で構成され、イオンプレーティング又はスパッタ等によって形成される。

【0076】次いで、上記と同様に移載槽99とバリア槽102及び銅成膜槽101との間のゲート104が順次開閉されてその間に真空ロボット100によりバリア層204が形成されたウエハ201がバリア槽102から取り出され、その後、銅成膜槽101中に置かれる。

【0077】次いで、銅成膜槽101中で、実施の形態150と同様にして、図17(c)に示すようにバリア層204上に

銅からなる配線材料層205が形成される。

【0078】次いで、上記と同様に移載槽99と銅成膜槽101及びアンロード槽103との間のゲート104が順次開閉されてその間に真空ロボット100により配線材料層205が形成されたウエハ201が銅成膜槽101から取り出され、その後、アンロード槽103中に置かれる。

【0079】次いで、アンロード槽103中が大気圧に戻された後、クリーン室との間のゲート104が開閉されてその間にクリーンロボット97により配線材料層205が形成されたウエハ201がアンロード槽103から取り出され、その後、第2のヤード95で待機しているカセット93中に収納される。次いで、カセット93は次の工程に移動する。そして、そこで、配線材料層205が形成されたウエハ201は、CMPによって表面を研磨され、図17(d)に示すように、絶縁層202の高アスペクト比の配線溝203中に銅からなる配線205が埋め込まれたものとなる。この際、配線205がCMPを施すに十分硬いため、その熱硬化処理及び表面平滑化処理を省略することができる。

【0080】以上のように、本実施の形態によれば高アスペクト比の配線溝に埋め込まれた銅配線を有する半導体デバイスを好適に製造することができる。

【0081】次に、本実施の形態の変形例を説明する。図16は本実施の形態の変形例の構成を模式的に示す平面図である。

【0082】図16及び図17を参照して、本変形例では、移載槽99にゲート104を介してエッチング槽105及び熱処理槽106がさらに接続されている。熱処理槽106は、窒素(N₂)又はアルゴン(Ar)を導入可能なリフロー槽又はアニール槽で構成され、銅成膜槽101で形成された銅からなる配線材料層205を再溶融又はアニールすることによりその残留応力を消滅させ又は緩和するものである。従って、この熱処理は、湿式メッキによる銅配線に対して施される熱硬化処理及び表面平滑化処理とは異なるものである。また、エッチング槽105は、塩素(Cl₂)ガス導入可能なエッチング槽で構成され、バリア層204上に形成された配線材料層205のうち、配線溝203の入り口部に付着するものを除去するものである。このように構成された本変形例では、真空ロボット100が、配線材料層205が形成されたウエハ201を銅成膜槽101とエッチング槽105との間を複数回行き来させた後、熱処理槽106を通過させ、その後、アンロード槽103に置く。これにより、配線溝203の入り口部に配線材料205が付着しやすい場合に、これをエッチング槽105によって除去しながら、銅成膜槽101によって配線材料層205を形成することができるので、このような場合でも、高アスペクト比の配線溝に高い割合で配線材料205を充填することができる。また、ウエハ上に形成された配線材料205が熱処理槽106における熱処理によってその内部応力が低減されるので、その信頼性が向上する。

【0083】なお、本変形例では、エッチング槽105を

設けたが、これを省略し、銅成膜槽101において、アルゴンガスの存在下で逆スパッタを行うことにより、配線溝203の入り口部に付着する配線材料205を除去するようにもよい。このような構成とすると、同一槽101内で配線材料層205の形成とその特定部分の除去とを行うことができるので、半導体デバイス製造装置の構成が簡素化される。

実施の形態3

図18は本発明の実施の形態3に係る半導体配線形成方法によってウエハ上に形成されたシード膜のカバレージを示す断面写真、図19は図18の写真的スケッチである。

【0084】本実施の形態では、実施の形態1の半導体配線形成装置を用いて、ウエハ上にバリア層及び銅からなるシード膜が積層形成され、その後、通常の湿式メッキを用いてそのシード膜上に銅配線が形成される。

【0085】図1を参照して、本実施の形態では、半導体配線形成装置1を用いてバリア層及びシード膜を形成する際に、ウエハ201の表面を包むようにプラズマ301の雲が位置するので、蒸発材料のウエハ表面への付き回り性が良好なものとなる。従って、図18及び図19に示すように、それによって形成されたバリア層及びシード膜206が、ステップカバレージ(配線溝203のサイドカバレージ及びボトムカバレージ)の良好なものとなる。その結果、その後湿式メッキによって形成される銅配線がステップカバレージが良好なものとなり、かつ銅配線中のボイドの発生が低減される。なお、図18ではバリア層が写っておらず、従って図19でもこれを省略している。

【0086】また、本実施の形態では、実施の形態1の半導体配線形成装置1で形成されるバリア層及びシード膜206が、実施の形態1で述べた理由により緻密で硬いものとなるため、シード膜206の銅がバリア層に拡散し難くなるとともに、バリア層の銅拡散阻止性能が向上するので、両方の効果が相俟って、バリア層の厚みを従来に較べて薄くすることが可能になる。例えば、通常、バリア層の厚みは300～500オングストロームであるが、本実施の形態では、材料としてTaNを用いたところ、バリア層の厚みは150～200オングストロームで十分であった。なお、バリア層とシード膜206とを合わせた厚みは1500～2000オングストロームであった。よって、本実施の形態によれば、バリア層の厚みが低減される分、配線抵抗を低減することができる。

実施の形態4

図20は本発明の実施の形態4に係る半導体配線形成装置の構成を示す模式図である。図20において図1と同一符号は同一又は相当する部分を示す。

【0087】図20に示すように、本実施の形態では、図1の構成において、さらに、真空チャンバ2の壁部2aの四部2dにエネルギービーム照射手段としてのイオンガ

21

ン601が配設され、このイオンガン601が制御装置20の制御によってプラスのイオンビーム（エネルギービーム）602を、基材ホルダ3に保持されたウエハ201に向けて照射するように構成されている。このイオンビーム602の照射により、ウエハ201に堆積された配線材料のエネルギーが高められ、その分子が隙間なく並ぼうとする。それにより、その配線材料層がさらに緻密なものとなる。

【0088】なお、エネルギービーム照射手段として、イオンガンに代えて、エネルギービームとしてのレーザ光を照射するレーザを用いててもよい、このようなレーザとしては、エキシマレーザ、YAGの高調波レーザ、短波長レーザ等を用いることができる。

【0089】なお、上記実施の形態1、4では、高周波電圧にバイアス電圧を重畠させるためにバイアス電源ユニット11を用いたが、これを省略してもよい。この場合でも、高周波電圧によるセルフバイアス電界による加速効果によって、励起された原子状の配線材料の直進性が良くなり、かつ、ウエハ上に形成される配線材料層の緻密性が向上する。

【0090】また、実施の形態1における膜厚モニタ19は、ウエハ201上に形成される配線材料層の抵抗又は誘電率を検出するように構成してもよい。

【0091】また、実施の形態1において、水素ガスに代えてOH基を含むガスを真空チャンバ2内に供給するようにしてもよい。

【0092】

【発明の効果】本発明は、以上に説明したような形態で実施され、以下のような効果を奏する。

(1) ウエハ上に配線溝が形成されている場合に、熱硬化処理及び表面平滑化処理の省略、バリア層の厚みの低減、並びに最適な条件で高アスペクト比の溝に配線を形成することが可能となる。

(2) 真空チャンバ内に水素又はOH基を含むガスを供給すると、ウエハ上に形成される半導体配線膜をより緻密で低抵抗なものとすることができます。

(3) 真空チャンバ内の雰囲気の水素含有率が体積比で4~20パーセントであるとすると、マイグレーション効果を有効に得ることができます。

(4) 直流電源によって、基材ホルダを負の電極として真空チャンバ内に直流電界を形成すると、半導体用材料の直進性がより向上し、ウエハ表面の溝により良好に半導体配線膜材料を充填することができる。

(5) ウエハに形成される半導体配線膜の堆積状況のモニタ結果に基づいて、半導体配線膜の形成条件を制御すると、最適な堆積カーブで半導体配線膜を形成することができる。

(6) 半導体配線膜の形成条件が、半導体配線膜の堆積速度、高周波電力の大きさ、及び直流電界の強度の少なくともいずれかであるとすると、ウエハ上に半導体配線膜材料を好適に成膜することができる。

22

(7) 基材ホルダの電位を一時的に正電位に変えると、さらに緻密な半導体配線膜を得ることができる。

(8) 半導体配線膜材料を24時間以上連続して供給可能な半導体配線材料供給手段によって、蒸発源から蒸発させられる該半導体配線膜材料を供給すると、ウエハ上に半導体配線膜材料を成膜する際に要求される24時間以上の連続運転が可能となる。

(9) 蒸発源及び半導体配線材料供給手段が、電子ビーム加熱と自公転多点坩堝との組み合わせ方式、電子ビーム加熱と半導体配線材料ワイヤ自動送り機構との組み合わせ方式、電子ビーム加熱と半導体配線材料ペレット自動供給機構との組み合わせ方式、抵抗加熱と自公転多点ポートとの組み合わせ方式、抵抗加熱と半導体配線材料ワイヤ自動送り機構との組み合わせ方式、抵抗加熱と半導体配線材料ペレット自動供給機構との組み合わせ方式、半導体配線材料自動送り機構付きアーク放電方式、イオンビーム照射方式、及びDCスパッタ方式の少なくともいずれか又はこれらを組み合わせてなるものであるとともに、半導体配線材料を24時間以上連続して供給可能な蒸発源及び半導体配線材料供給手段を容易に実現することができる。

(10) 蒸発源から蒸発させられる半導体配線膜材料を定量供給するものとすると、ウエハ上に形成される半導体配線膜の膜厚を的確に制御することができる。

(11) 実質的な真空状態におけるガス圧が 10^{-3} Paのオーダーであるとすると、アスペクト比が高い溝に好適に半導体配線膜材料を充填することができる。

(12) 高周波電力を供給する回路中に、電源側のインピーダンスと負荷側のインピーダンスとを整合させるためのマッチングユニットと所定容量のコンデンサとが、高周波電力を供給するための他方の電極及び基材ホルダに直列に挿入されてなるものとすると、真空チャンバ内に高周波電力によるプラズマを安定して発生させることができる。

(13) 基材ホルダに保持されるウエハの表面に形成される上記半導体配線膜にエネルギービームを照射するようになると、半導体配線膜材料層がさらに緻密なものとなる。

(14) 高周波電力を供給するための他方の電極が、導電性部材で構成された真空チャンバであるとすると、ウエハ表面への半導体配線膜材料の付き回り性が向上する。

(15) ウエハの表面に配線用溝が形成されており、半導体配線膜材料が銅であるとすると、従来に較べて高アスペクト比のウエハ上の溝中に銅配線を形成することができる。

(16) 本発明の半導体配線形成方法によってウエハ上にシード膜を形成する工程と、そのシード膜を用いて、湿式メッキによりウエハ上に半導体配線膜を形成する工程とを含んでなるものとすると、湿式メッキによって形成される銅配線がステップカバレージが良好なものとな

10

20

30

40

50

り、かつ銅配線中のボイドの発生が低減される。

(17) シード膜の下層としてバリア層を形成し、シード膜及び半導体配線膜の材料として銅を用いてなるものとすると、バリア層の厚みを従来に較べて薄くすることができ、その結果、バリア層の厚みが低減される分、配線抵抗を低減することができる。

(18) また、ドライプロセスによって、ウエハ上に好適に銅配線を形成することができる。

(19) また、高密度で相対的に低抵抗な半導体デバイス用配線を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1に係る半導体配線形成装置の構成を示す模式図である。

【図2】図1の半導体配線形成装置におけるバイアス電圧の波形を示す波形図である。

【図3】図1の半導体配線装置における基材ホルダー蒸発源間の電位分布を示す模式図である。

【図4】図1の半導体配線形成装置における蒸発源及び蒸発材料供給装置の構成を示す模式図である。

【図5】本発明の実施の形態1の実施例1による半導体配線形成方法によるウエハ上の配線溝への配線材料の充填状態を示す断面写真である。

【図6】図5の断面写真のスケッチである。

【図7】本発明の実施の形態1の実施例2による半導体配線形成方法によってウエハ上に形成された薄膜の表面を研磨した状態を示す断面写真である。

【図8】本発明の実施の形態1の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第1の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【図9】本発明の実施の形態1の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第2の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【図10】本発明の実施の形態1の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第3の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【図11】本発明の実施の形態1の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第4の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【図12】本発明の実施の形態1の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第5の変形例の構成を模式的に示す断面図である。

【図13】本発明の実施の形態1の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第6の変形例の構成を示す模式図である。

【図14】本発明の実施の形態1の蒸発源及び蒸発材料供給装置の第7の変形例の構成を模式的に示す斜視図である。

【図15】本発明の実施の形態2に係る半導体デバイス製造装置の構成を模式的に示す平面図である。

【図16】本発明の実施の形態2の変形例の構成を模式的に示す平面図である。

【図17】半導体デバイスの配線の形成方法を示す工程別断面図である。

【図18】本発明の実施の形態3に係る半導体配線形成方法によってウエハ上に形成されたシード膜のカバレージを示す断面写真である。

【図19】図18の写真的スケッチである。

【図20】本発明の実施の形態4に係る半導体配線形成装置の構成を示す模式図である。

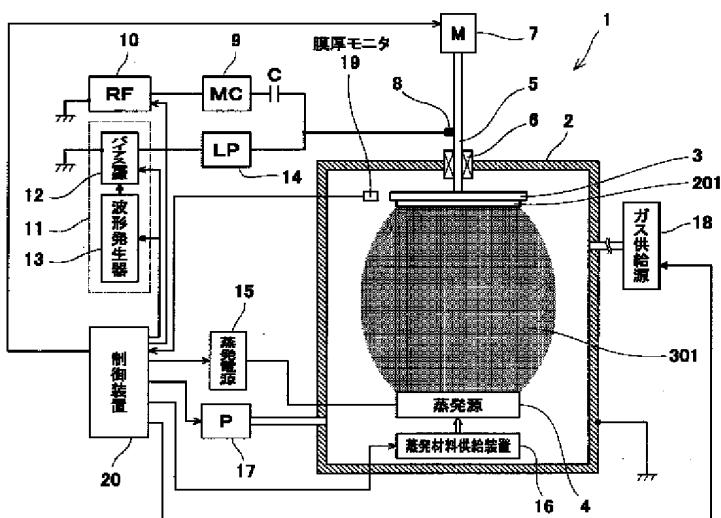
【符号の説明】

- | | |
|----|---------------|
| 10 | 1 半導体配線形成装置 |
| | 2 真空チャンバー |
| | 2a 壁部 |
| | 2b~2d 凹部 |
| | 3 基材ホルダ |
| | 4 蒸発源 |
| | 5 回転軸 |
| | 6 軸受け |
| | 7 モータ |
| | 8 ブラシ |
| 20 | 9 マッチングユニット |
| | 10 高周波電源 |
| | 11 バイアス電源装置 |
| | 12 バイアス電源 |
| | 13 波形発生器 |
| | 14 ローパスフィルタ |
| | 15 蒸発電源 |
| | 16 蒸発材料供給装置 |
| | 17 真空ポンプ |
| | 18 ガス供給源 |
| 30 | 19 膜厚モニタ |
| | 20 制御装置 |
| | 40 自公転多点坩堝 |
| | 41 公転軸 |
| | 42,42a~42d 坩堝 |
| | 43 電子ビーム発生器 |
| | 44 電子ビーム |
| | 53 リール |
| | 54 フィーダ |
| | 55 送りローラ |
| 40 | 56 ガイドパイプ |
| | 57 ワイヤ |
| | 58 ワイヤ自動供給装置 |
| | 60 ウエハ |
| | 61 絶縁層 |
| | 62 配線溝 |
| | 63 配線材料層 |
| | 70 ベレット自動供給装置 |
| | 71 ホッパ |
| | 72 ガイド樋 |
| 50 | 73 ベレット |

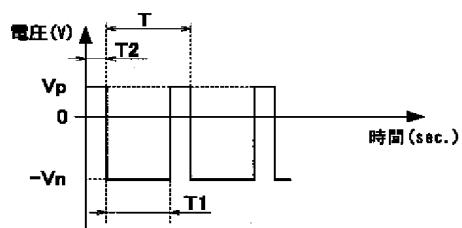
- 75 抵抗加熱装置
 76,77 電極
 79 蒸発材料定量供給装置
 80 アーク蒸発源
 82 カソード
 83 アノード
 83a 周面
 83b 先端面
 83c 貫通孔
 86 貫通孔
 87 シール部材
 90 レール
 91 クリーン室
 92 真空室
 93 カセット
 94 第1のヤード
 95 第2のヤード
 96 アライナ
 97 クリーンロボット
 98 ロードロック槽
 99 移載槽
 100 真空ロボット

- 101 銅成膜槽
 102 バリア槽
 103 アンロード槽
 104 ゲート
 105 热処理槽
 106 エッチング槽
 201 ウエハ
 202 絶縁層
 203 配線溝
 10 204 バリア層
 205 配線材料層
 206 シード膜
 301 プラズマ
 401 カソード送り機構
 501 イオンガン
 502 ターゲット
 503 回転テーブル
 504 イオンビーム
 601 エネルギビーム照射手段
 20 602 イオンビーム
 Vp 電位

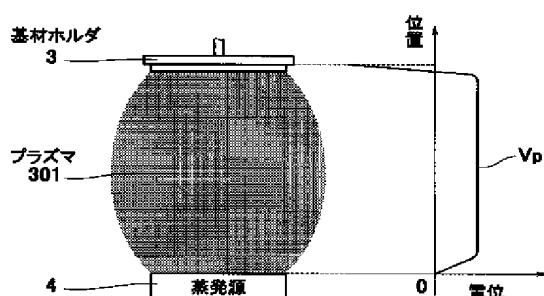
【図1】



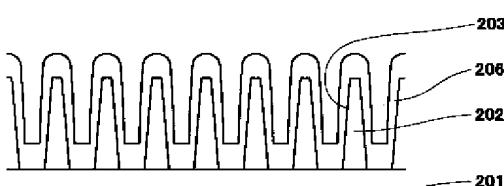
【図2】



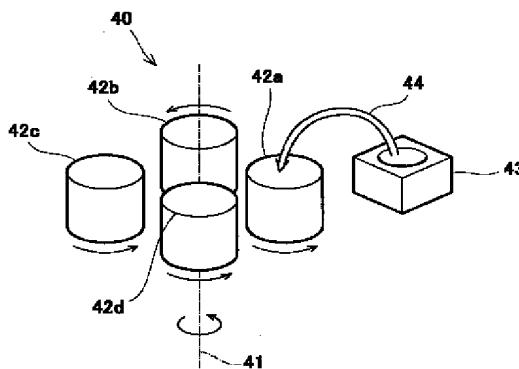
【図3】



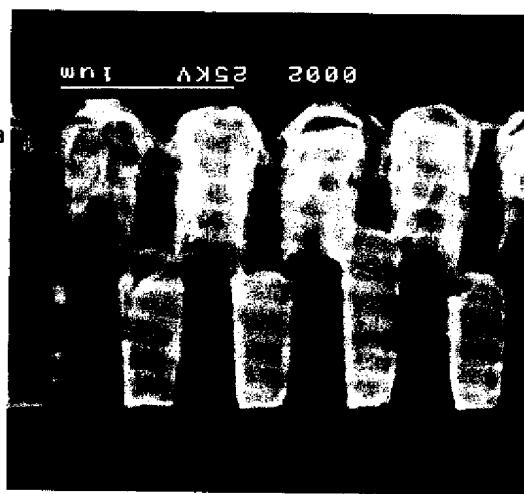
【図19】



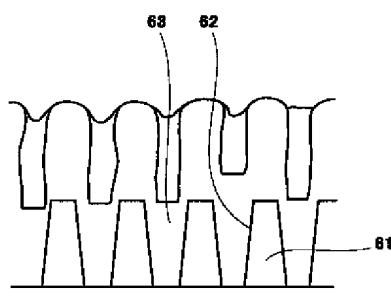
【図4】



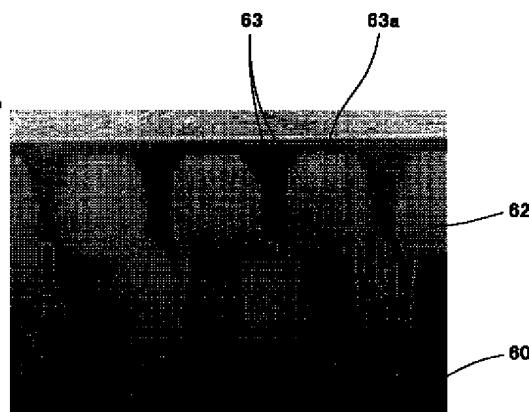
【図5】



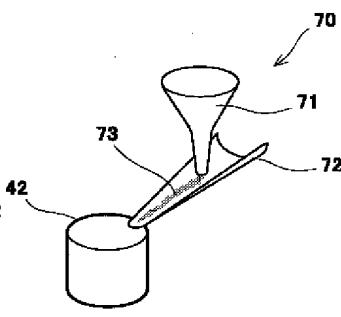
【図6】



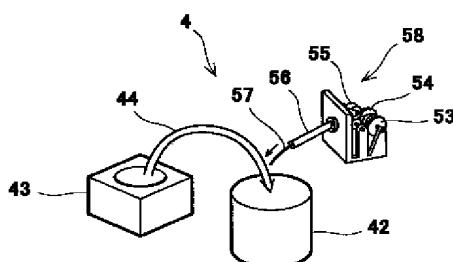
【図7】



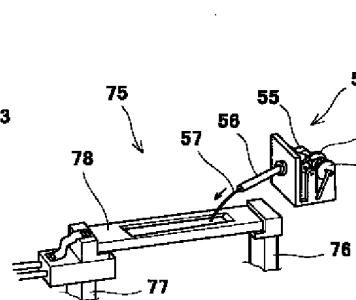
【図9】



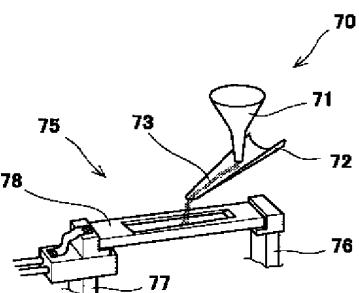
【図8】



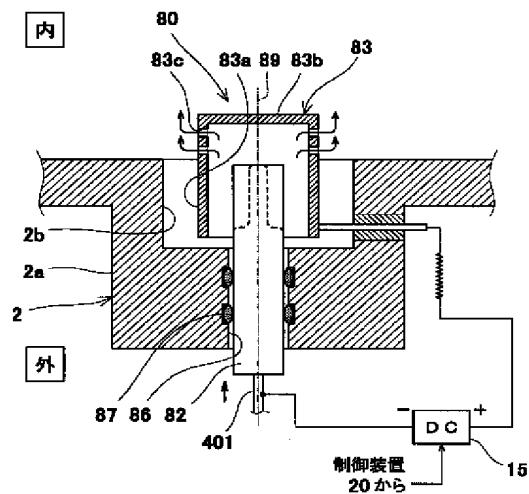
【図10】



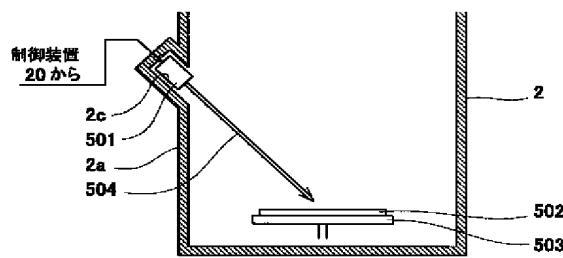
【図11】



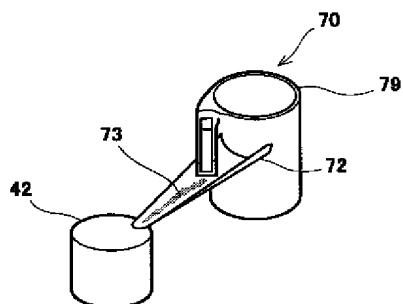
【図12】



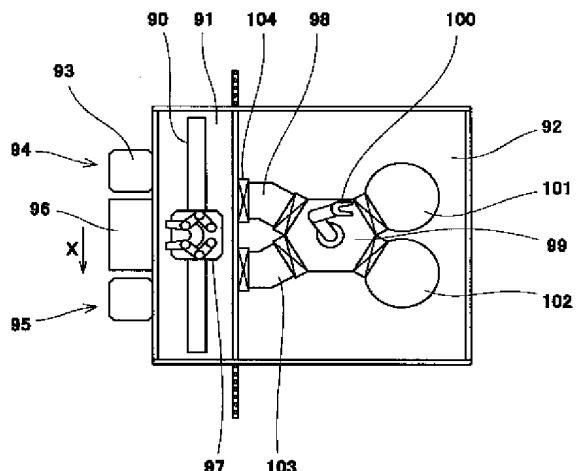
【図13】



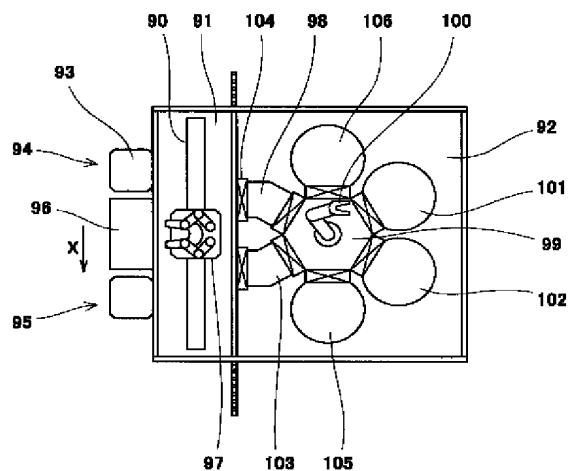
【図14】



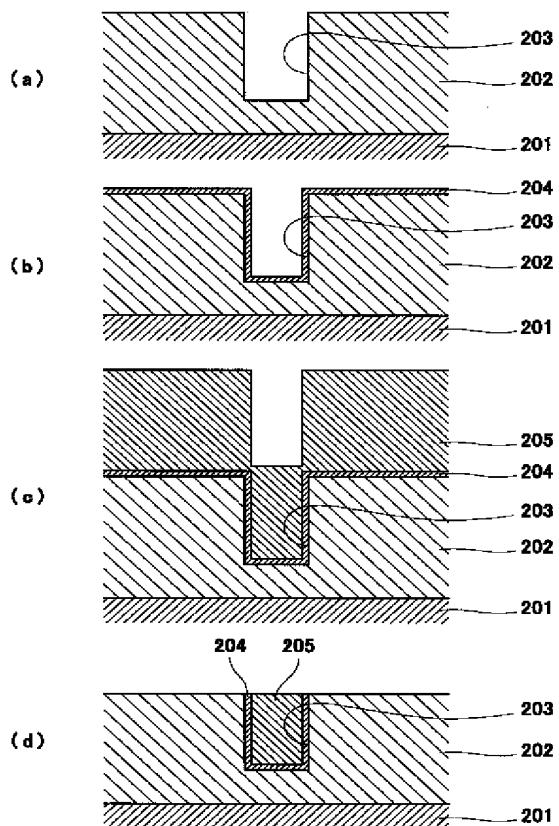
【図15】



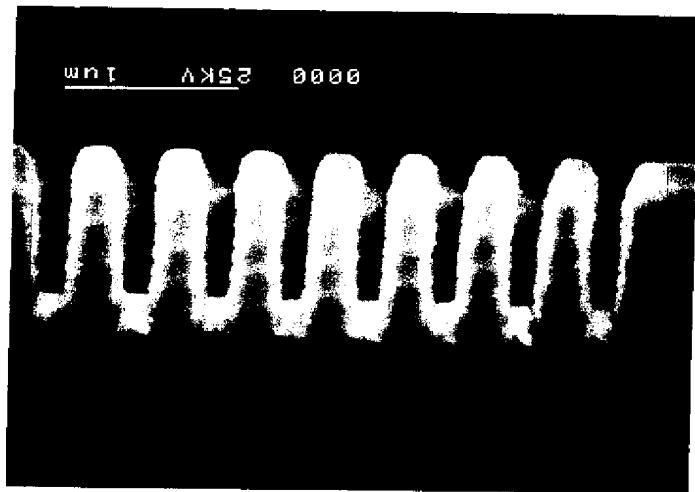
【図16】



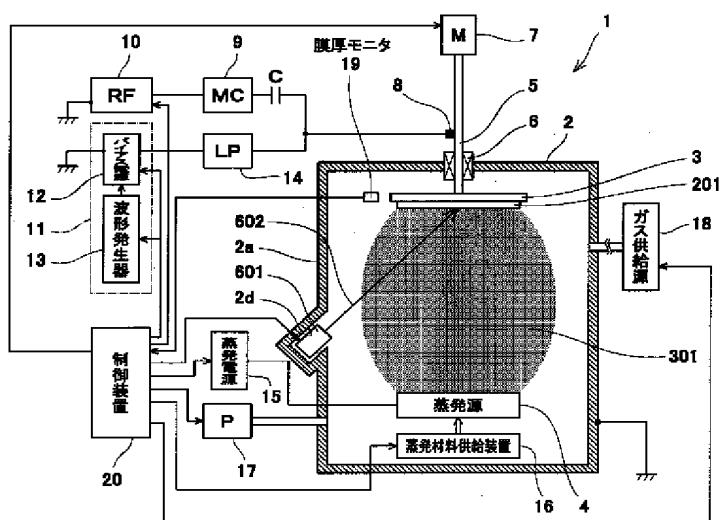
【図17】



【図18】



【図20】



フロントページの続き

(72)発明者 丸中 正雄
兵庫県西宮市田近野町6番107号 新明和
工業株式会社開発センタ内

(72)発明者 土井 聰也
兵庫県西宮市田近野町6番107号 新明和
工業株式会社開発センタ内

(72)発明者 能勢 功一
兵庫県西宮市田近野町6番107号 新明和
工業株式会社開発センタ内

(72)発明者 瀧川 志朗
兵庫県西宮市田近野町6番107号 新明和
工業株式会社開発センタ内

(72)発明者 大竹 聖司
茨城県つくば市吾妻1-15-1 大成ビル
106 株式会社つくばセミテクノロジー内

F ターム(参考) 4K029 AA06 BA08 BC03 BD01 CA01
DB03 DB18 DB21 DB23 EA03
EA06
4M104 BB04 BB30 BB32 DD16 DD36
DD37 DD53 DD65 DD75 DD78
EE02 EE16 FF18 HH01 HH02
HH13 HH14 HH16
5F033 HH11 HH21 HH32 HH33 MM01
MM12 MM13 PP15 PP16 PP19
PP20 PP27 PP33 QQ14 QQ31
QQ48 QQ73 QQ75 RR04 WW01
WW05 XX02 XX04 XX05 XX06
XX10 XX33

PAT-NO: JP02003188115A
**DOCUMENT-
IDENTIFIER:** JP 2003188115 A
TITLE: METHOD AND APPARATUS
FOR SEMICONDUCTOR
WIRING FORMATION,
METHOD AND APPARATUS
FOR MANUFACTURING
SEMICONDUCTOR DEVICE,
AND WAFER
PUBN-DATE: July 4, 2003

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MARUNAKA, MASAO	N/A
DOI, TOSHIYA	N/A
NOSE, KOICHI	N/A
TAKIGAWA, SHIRO	N/A
OTAKE, SEIJI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SHIN MEIWA IND CO LTD	N/A
TSUKUBA SEMI TECHNOLOGY:KK	N/A
NISSEI ELECTRONICS LTD	N/A

APPL-NO: JP2001383534

APPL-DATE: December 17, 2001

INT-CL (IPC): H01L021/285 , C23C014/24 , H01L021/02 ,
H01L021/3205

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and apparatus for semiconductor wiring formation, a method and apparatus for semiconductor device manufacturing, and a wafer which can omit a thermosetting process and a surface smoothing process, reduce the thickness of a barrier layer, and form wires in a groove with a high aspect ratio under optimum conditions.

SOLUTION: A vacuum chamber 2 whose inside can be held in a substantially vacuum state is used and the wafer 201 where a semiconductor wiring film is formed is held by a base material holder 3 arranged in the vacuum chamber 2; and the material of the semiconductor wiring film is vaporized by a vapor source 4 arranged in the vacuum chamber 2 and a high-frequency power source 10 supplies high-frequency electric power for generating a plasma 301 in the vacuum chamber 2 by using the base material holder 3 as one electrode.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO